پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد۱۰ شمارۀ۲، نیمۀ دوم ۱۳۹۸، صفحۀ ۴۸-۳۶
نوع مقاله: پژوهشی

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 10, No. 2, 2019, p. 36-48 (Research Article)
DOI: 10.22067/ijpr.v10i2.65944

اثر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و سلنیوم در مراحل مختلف رشد بر برخی صفات فیزیولوژیک نخود تحت شرایط دیم

مجتبی نوروزی[1] و نورعلی ساجدی[2*]
۱- کارشناس‌ارشد زراعت، وزارت جهاد کشاورزی، اراک، ایران، hobout_h@yahoo.com
۲- دانشیار گروه اگروتکنولوژی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۱۷

چکیده

به‌منظور بررسی واکنش صفات فیزیولوژیک نخود به محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و سلنیوم در شرایط دیم، آزمایشی به‌صورت اسپلیت‌پلات‌فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در سال۱۳۹۳ اجرا شد. عوامل مورد بررسی شامل سالیسیلیک اسید در سه سطح (بدون مصرف، محلول‌پاشی با غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر) و سلنیوم در دو سطح (بدون مصرف و محلول‌پاشی به میزان ۱۸گرم در هکتار در سه مرحله مختلف رشد رویشی، زایشی و رویشی توأم با زایشی) بود. نتایج نشان داد که با محلول‌پاشی سلنیوم و سالیسیلیک اسید محتوای نسبی آب برگ افزایش یافت. با محلول‌پاشی مقادیر مختلف سالیسیلیک اسید محتوای کلروفیلa و کارتنوئیدها افزایش و میزان نشت یونی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. محلول‌پاشی سلنیوم محتوای کلروفیلa را نسبت به شاهد افزایش داد. اثر متقابل دوگانه تیمارها نشان داد که با محلول‌پاشی ۱۸گرم در هکتار سلنیوم، ۱۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و بدون مصرف سلنیوم و همچنین محلول‌پاشی ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و بدون مصرف سلنیوم، محتوای کلروفیلb نسبت به شاهد به‌ترتیب ۲۶/۴، ۲۹/۴ و ۳۲/۳درصد افزایش نشان داد. با محلول‌پاشی تیمارهای سالیسیلیک اسید و سلنیوم در هر دو مرحله رشد رویشی و زایشی بیشترین شاخص برداشت غلاف و تلاش و بازآوری حاصل شد. نتایج کلی نشان داد با محلول‌پاشی توأم ۱۸گرم در هکتار سلنیوم و ۱۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید در دو مرحله رویشی و زایشی از طریق بهبود صفات فیزیولوژیکی می‌توان به عملکرد مطلوب در شرایط دیم دست یافت.

واژه‌های کلیدی: رنگدانه‌های گیاهی، سلنیت سدیم، محتوای نسبی آب، نخود، نشت یونی

مقدمه

نخود یکی از مهم‌ترین حبوبات در دنیا محسوب می‌شود. اهمیت آن به‌علت داشتن پروتئین بالا (۲۳/۵ تا ۲۸/۹درصد) در دانه می‌باشد (Mafakheri *et al*., 2011). در ایران، نخود عمدتاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک تولید می‌شود و معمولاً در طی مرحله گلدهی و رسیدگی با افزایش تنش کمبود آب مواجه می‌شود (Talebi *et al*., 2013).

روش‌های مختلفی در کشاورزی برای افزایش تحمل گیاهان در برابر تنش‌های غیرزیستی وجود دارد. از آن جمله می‌توان به پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی با ترکیبات آلی سازگار از قبیل پرولین، گلایسین بتائین، اسیدهای امینه، سالیسیلیک اسید (Hussain *et al*., 2008) و عناصری از قبیل سلنیوم، روی و سیلیسیوم (Epstein, 2009) اشاره نمود. سلنیوم به عنوان یک عنصر ضروری برای گیاهان نیست؛ با وجود این، گزارش‌هایی وجود دارد که بیانگر نقش مفید سلنیوم در گیاهان تحت شرایط تنش‌های غیرزنده از قبیل شوری (Abul-Soud & Abd-Elrahman, 2016)، درجه‌حرارت بالا (Balal *et al*., 2016) و تنش خشکی (Nawaz *et al*., 2015) می‌باشد. سلنیوم از طریق شرکت در تعدادی از فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی از قبیل حفظ وضعیت آب (Djanaguiraman *et al*., 2005)، افزایش رنگدانه‌های گیاهی (Malik *et al*., 2012) و تنظیم دستگاه فتوسنتزی (Balal *et al*., 2016) گیاه را در برابر تنش‌های غیرزنده حفاظت می‌کند. گزارش شده است که سلنیوم در غلظت‌های پایین از طریق افزایش سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی، تثبیت کربن، سنتز و هیدرولیز نشاسته و ساکارز، رشد گیاه را افزایش می‌دهد، ولی در مقادیر بالا باعث کاهش محتوای کلروفیل و کاهش سنتز کربوهیدرات‌ها می‌شود و از این طریق زمینه کاهش رشد گیاه فراهم می‌گردد (Han-Wens *et al*., 2010). علاوه بر این، گزارش شده است که سلنیوم باعث بهبود عملکرد گیاهان زراعی از قبیل گندم

* نویسنده مسئول: n-sajedi@iau-arak.ac.ir

(Nawaz *et al*., 2015)، برنج (Wang *et al*., 2013) و ذرت (Chilimba *et al*., 2012) می‌شود.

سالیسیلیک اسید پتانسیل تأثیر بر دامنه وسیعی از واکنش های متابولیکی در گیاهان را دارد و همچنین روی پارامترهای فتوسنتزی و روابط آبی گیاه مؤثر می‌باشد (Fariduddin *et al*., 2003). گزارش شده است که کاربرد سالیسیلیک اسید مقاومت گیاهان را به تنش خشکی افزایش می‌دهد (Hussain *et al*., 2008). افزایش پروتئین‌ها، رنگیزه‌های فتوسنتزی و قندها، اثرهای مهم سالیسیلیک اسید در افزایش مقاومت گیاه سیب‌زمینی در مقابل تنش می‌باشد (Hadi and Balali, 2010). سالیسیلیک اسید در فعال‌سازی سنتز کارتنوئیدها، زانتوفیل‌ها، تحریک سرعت فتوسنتز خالص، افزایش غلظت دی‌اکسید کربن داخلی، کارآیی مصرف آب، هدایت روزنه‌ای و تعرق شرکت می‌کند (Fariduddin *et al*., 2003; Khan *et al*., 2003). گزارش شده است که محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در غلظت ۰/۷میلی‌مولار در سه مرحله باعث افزایش شاخص پایداری غشاء و محتوای کارتنوئیدها در نخود ژنوتیپ MCC441 شد (Ramezannezhad *et al*., 2013). گزارش شده است که محلول‌پاشی با ۱۰۰میلی‌گرم بر کیلوگرم سالیسیلیک اسید در مرحله رویشی باعث افزایش تعداد غلاف شد، همچنین محلول پاشی با همین مقدار در زمان گلدهی باعث بهبود صفات تعداد دانه در بوته، درصد نیتروژن خاک و وزن گره‌کها در گیاه نخود در شرایط تنش خشکی شد (Rezazadeh, 2011). پیش‌تیمار بذر نخود با ۰/۵ و ۰/۷۵میلی‌مولار سالیسیلیک اسید باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و شاخص قدرت گیاهچه در بالاترین عصاره اللوپاتیک تاتوره گردید (Jami Moieni *et al*., 2016). بنابراین هدف از این آزمایش بررسی تأثیر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و سلنیوم در مراحل مختلف رشد بر صفات فیزیولوژیک نخود در شرایط دیم بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و سلنیوم در مراحل مختلف رشد بر صفات فیزیولوژیکی نخود در شرایط دیم آزمایشی در استان مرکزی، شهرستان فراهان، روستای عزیزآباد با مختصات جغرافیایی ۴۹درجه و ۵۰دقیقه طول شرقی و ۳۴درجه و ۲۵دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۱۷۷۰متر از سطح دریا در سال زراعی۱۳۹۳- ۱۳۹۲ اجرا شد. شرایط اقلیمی منطقه در طول دوره اجرای آزمایش در جدول۱ ارائه شده است.

قبل از کشت به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر مزرعه نمونه‌برداری انجام و به آزمایشگاه ارسال شد (جدول ۲). این آزمایش به صورت اسپلیت‌فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. عوامل مورد آزمایش شامل مراحل رشد در سه سطح محلول‌پاشی در زمان شروع شاخه‌دهی، یک هفته قبل از گلدهی و هر دو مرحله شروع شاخه‌دهی و یک هفته قبل از گلدهی به عنوان عامل اصلی و سالیسیلیک اسید در سه سطح (بدون مصرف سالیسیلیک اسید، محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید با غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر) و سلنیوم در دو سطح (بدون مصرف و محلول‌پاشی سلنیوم به میزان ۱۸گرم در هکتار از منبع سلنیت سدیم) به عنوان عامل فرعی درنظرگرفته شدند. زمین محل آزمایش در سال قبل تحت آیش بود. عملیات شخم زمین در تاریخ ۹۲/۷/۱۴ توسط گاوآهن قلمی در عمق ۲۵-۲۰ سانتی‌متری انجام شد. قبل از کاشت بر اساس نتیجه آزمون خاک، ۵۰کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۴۰کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات‌تریپل به زمین اضافه و به وسیله دیسک با خاک مخلوط شد. عملیات کشت به‌صورت انتظاری در اواخر بهمن‌ماه انجام شد.

ژنوتیپ مورد کشت، رقم آزاد بود که بذر آن از مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان فراهان تهیه گردید. تراکم کاشت بر اساس۵۰کیلوگرم بذر در هکتار صورت گرفت و بذرها در عمق ۶ سانتی‌متر کشت شدند. فاصله بین ردیف‌ها ۳۰سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۱۰سانتی‌متر درنظرگرفته شد. هر کرت به مساحت ۱۵ مترمربع (۳×۵)، فاصله بین کرت‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فواصل بین دو تکرار دو متر درنظرگرفته شد. اولین مرحله از محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و سلنیوم، در تاریخ دوم اردیبهشت۱۳۹۳ در مرحله رویشی با استفاده از سمپاش موتوری پشتی انجام شد. در تاریخ ۱۷اردیبهشت دومین مرحله از محلول‌پاشی تیمارها، یک هفته قبل از گلدهی انجام شد.

برای اندازه‌گیری صفات محتوای نسبی آب برگ، نشت یونی و رنگدانه‌های گیاهی نمونه‌برداری از سه تکرار انجام شد. برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل در مرحله گلدهی پنج بوته از هر کرت برداشت و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شد. برای این منظور ۰/۵گرم برگ تازه در ۲۰میلی‌لیتر استون ۸۰درصد سابیده و صاف شده مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۱- آمار هواشناسی در سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۲
Table 1. Meteorological data in 2013-2014 cropping year

ماه و سال Months & Year		میانگین حداقل درجه حرارت (سانتی‌گراد) Mean of minimum temperature (°c)	میانگین حداکثر درجه‌حرارت (سانتی‌گراد) Mean of maximum temperature (°c)	میانگین درجه حرارت (سانتی‌گراد) Mean of temperature (°C)	میانگین رطوبت نسبی (درصد) Mean of relative humidity (%)	بارندگی (میلی‌متر) Precipitation (mm)
دی۹۲	January	-12.9	-3.3	-8.1	74	48.9
بهمن۹۲	February	-13.8	-1.5	-7.6	71	48.9
اسفند۹۲	March	-1.3	13.2	-7.2	32	2.6
فروردین۹۳	April	7.4	22.3	14.8	42	95
اردیبهشت۹۳	May	10.3	25.54	17.9	39	19.5
خرداد۹۳	June	15	31.6	23.3	26	0
تیر۹۳	July	20	35.3	27.6	28	0.1
مرداد۹۳	August	18.6	35.5	27.0	24	0.1
شهریور۹۳	September	15.3	32.2	23.7	33	1.6

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش
Table 2. Physical and chemical soil properties of the experimental site

عمق خاک Soil depth (cm)	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	اسیدیته pH	نیتروژن کل N (%)	پتاسیم K (ppm)	فسفر P (ppm)	سلنیوم Se (mg/kg)	کربن آلی OC (%)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)
0-30	1.1	7.6	0.07	250	10.6	0.18	0.68	26.4	36.2	37.4

غلظت نوری کلروفیل با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۴۸۰، ۵۱۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر اندازه‌گیری شد. سپس مقدار کلروفیلa، کلروفیلb و کارتنوئیدها از روابط زیر محاسبه شدند (Arnon, 1949):

رابطه ۱

$$\text{Chlorophyll a (mg/g fw)} = [12.7(D663) - 2.69(D645)]\ V/W \times 1000$$

رابطه ۲

$$\text{Chlorophyll b (mg/g fw)} = [22.9(D645) - 4.68(D663)]\ V/W \times 1000$$

رابطه ۳

$$\text{Carotenoids (mg/g fw)} = [7.6(D480) - 1.49(D510)]\ V/W \times 1000$$

در روابط فوق، V: حجم محلول صاف‌شده، D: جذب نور در طول موج‌های ۶۴۵،۵۱۰، ۶۶۳ و ۶۸۰، W: وزن تر نمونه بر حسب‌گرم می‌باشند.

در خصوص صفت محتوای کارتنوئیدها چون اعداد مربوط به میانگین مربعات در جدول تجزیه واریانس بسیار کوچک بودند، لذا برای رفع این مشکل همه داده‌ها در عدد۱۰۰۰ ضرب شد و داده‌ها تجزیه شدند و اعداد جدید در جدول تجزیه واریانس ارائه شد، ولی در جدول مقایسه میانگین‌ها، اعداد حاصله بر ۱۰۰۰ تقسیم شد تا اعداد واقعی گزارش شوند.

صفات محتوای نسبی آب برگ و میزان نشت یونی سلول در مرحله گلدهی اندازه‌گیری شد. از هر کرت ۱۵برگچه از برگ های بالغ و فعال وسط بوته از پنج بوته جدا و در داخل نایلون قرار داده شد و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و توزین گردید (وزن تر). سپس سطح برگچه‌ها کاملاً شسته شد و به مدت ۲۴ساعت در آب مقطر قرار داده شدند. نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری وزن اشباع مجدداً توزین گردیدند. در نهایت برگچه‌ها به مدت ۴۸ساعت در داخل آون ۷۵درجه قرار داده شد تا خشک شوند. محتوای نسبی آب برگچه از رابطه زیر محاسبه شد (Turner, 1981):

رابطه ۴

$$RWC = \frac{Wf - Wd}{Ws - Wd} \times 100$$

در رابطه فوق، RWC: محتوای نسبی آب برگ، Wf: وزن تر برگچه، Wd: وزن خشک برگچه و Ws: وزن اشباع برگچه می‌باشند.

نشت یونی برگ‌ها بر اساس روش Lutts *et al*., (1996) اندازه‌گیری شد. برای این منظور از هر کرت ۱۵برگچه از پنج بوته جدا شد. نمونه‌ها ابتدا با آب مقطر شستشو داده و در لوله های دربدار قرار داده شدند و ۲۰میلی‌لیتر آب مقطر به آنها اضافه شد و در شرایط دمایی ۲۵درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ساعت قرار داده شدند. هدایت الکتریکی محلول با دستگاه ECمتر اندازه‌گیری شد (EC_1). به منظور اندازه‌گیری میزان کل نشت الکترولیت، نمونه‌ها به مدت ۲۰دقیقه در اتوکلاو و دمای ۱۲۰درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و مجدداً هدایت الکتریکی (EC_2) آنها اندازه‌گیری شد. درصد نشت یونی بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید:

رابطه ۵

$$EL(\%) = \frac{EC1}{EC2} \times 100$$

شاخص تلاش بازآوری از رابطه ارائه‌شده توسط Jabari *et al*, (2007) محاسبه شد که در آن تلاش بازآوری از تقسیم وزن خشک کل اندام زایشی (غلاف) بر وزن خشک کل گیاه حاصل شد. شاخص برداشت غلاف از نسبت وزن دانه‌های موجود در غلاف به وزن کل غلاف (دانه + پوشش غلاف) محاسبه شد.

عملیات برداشت در تاریخ ۹۳ /۳/۲۹ انجام شد. برای محاسبه عملکرد دانه، عملکرد زیستی و عملکرد غلاف از سطحی معادل دو مترمربع نمونه‌برداری انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارSAS و برای انجام مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب برگ

اثر تیمارهای سالیسیلیک اسید، سلنیوم و مرحله رشدی بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال ۱درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که بیشترین محتوای آب نسبی برگ زمانی حاصل شد که محلول‌پاشی سلنیوم و سالیسیلیک اسید در دو مرحله رویشی و زایشی صورت گرفت. با محلول پاشی ۱۰۰ و ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید، محتوای آب نسبی برگ نسبت به شاهد به ترتیب ۱۸ و ۴۲/۷درصد افزایش یافت. همچنین با محلول‌پاشی ۱۸گرم در هکتار سلنیوم، محتوای آب نسبی برگ نسبت به شاهد ۳۱درصد افزایش نشان داد (جدول ۵). در شرایط تنش خشکی، با محلول‌پاشی ۴۰میلی‌گرم در لیتر سلنیوم از منبع سلنات سدیم در طی دو مرحله در طول دوره رشد گیاه ذرت، محتوای نسبی آب برگ ۳۰درصد نسبت به شرایط مطلوب افزایش یافت (Nawaz *et al*., 2016).

گزارش شده است که کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت ۱/۵میلی‌مولار در شرایط تنش بعد از گرده‌افشانی در گیاه نخود باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ در ژنوتیپ‌های ICC4958 و C315 شد (Patel *et al*., 2011). به نظر می‌رسد در شرایط تنش کمبود آب، کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید به تنظیم وضعیت آب در گیاه کمک می‌نماید. گزارش شده است که سالیسیلیک اسید دامنه وسیعی از واکنش‌های متابولیکی در گیاهان را کنترل می‌کند که این واکنش‌ها در ارتباط با وضعیت آب داخل گیاه می‌باشند (Hayat *et al*., 2010).

درصد نشت یونی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سلنیوم بردرصد نشت یونی در سطح احتمال ۱درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمار سلنیوم نشان داد که بیشترین میزان نشت یونی معادل ۸۲/۵۷درصد از تیمار عدم مصرف سلنیوم و کمترین میزان این صفت برابر ۷۵/۸۶درصد از تیمار مصرف ۱۸گرم در هکتار سلنیوم حاصل شد؛ یعنی با محلول‌پاشی ۱۸گرم در هکتار سلنیوم، درصد نشت یونی نسبت به شاهد ۸/۸درصد کاهش یافت (جدول ۵).

گزارش شده است که در گیاهان تیمارشده با سلنیوم تخریب غشای پلاسمایی و نشت یونی از سلول نسبت به گیاهان شاهد کاهش می‌یابد (Broadley *et al*., 2010).

گزارش شده است که سلنیوم دارای خواص آنتی‌اکسیدانی بوده و در شرایط تنش از جمله تنش شوری و خشکی سبب خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌گردد. اسیدهای چرب و لیپیدها حساسیت زیادی به اکسیژن دارند و به سرعت اکسید می‌شوند. از آنجایی که غشاء سلولی یک غشاء فسفولیپیدی می‌باشد، واکنش اکسیژن با آن سبب تخریب غشاء سلولی و ترشح الکترولیت‌ها به بیرون سلول می‌شود. سلنیوم با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سبب پاکسازی اکسیژن فعال و در نتیجه کاهش در اکسیداسیون چربی‌های غشاء سلولی می‌گردد (Xue *et al*., 2001).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری‌شده در نخود

Table 3. Analysis of variance of chickpea measured traits

منابع تغییر	**S.O.V**	درجه آزادی **Df**	محتوای نسبی آب **Relative water content**	درصد نشت یونی **Electrolyte leakage**	محتوای کلروفیل **a** **Chl. a content**	محتوای کلروفیل **b** **Chl. b content**	محتوای کارتنوئیدها **Carotenoid content**
تکرار	Replication	2	4.26**	1002.97**	0.004 ns	0.0007 ns	3.09 ns
مرحله رشد	Growth stage (GS)	2	4.92**	219.90 ns	0.008 ns	0.002 ns	1.04 ns
اشتباه اصلی	Error	4	0.25	55.06	0.005	0.001	3.83
سالیسیلیک اسید	Salicylic Acid (SA)	2	1152.42**	86.58 ns	0.12**	0.004 ns	20.62 *
سلنیوم	Selenium (Se)	1	1961.07**	608.42**	0.47**	0.003 ns	0.015 ns
مرحله رشد × سالیسیلیک اسید	GS×SA	4	1.10 ns	64.49 ns	0.003 ns	0.0003 ns	0.501 ns
مرحله رشد × سلنیوم	GS×Se	2	10.19 ns	19.84 ns	0.001 ns	0.0009 ns	2.46 ns
سالیسیلیک اسید × سلنیوم	SA×Se	2	14.58 ns	81.12 ns	0.01 ns	0.42**	14.32 ns
مرحله رشد× سالیسیلیک اسید× سلنیوم	GS×SA×Se	4	1.67 ns	22.87 ns	0.002 ns	0.003 ns	3.57 ns
اشتباه فرعی	Error b	30	6.91	32.11	0.005	0.002	4.37
ضریب تغییرات (درصد)	CV (%)	-	5.86	7.15	9.50	12.47	24.73

ns،* و **: به ترتیب عدم معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵درصد و ۱درصد

ns, * and **: Non significant and significant at 5% and 1% levels of probability, respectively

جدول۴- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری‌شده در نخود

Table 4. Analysis of variance of chickpea measured traits

منابع تغییر	**S.O.V**	درجه آزادی **df**	شاخص برداشت غلاف **Harvest index of pod**	شاخص تلاش و بازآوری **Productivity index**	عملکرد زیستی **Biological yield**	عملکرد دانه **Grain yield**
تکرار	Replication	3	171.97 ns	158.64 ns	43901.4 ns	10823.55 ns
مرحله رشد	Growth stage (GS)	2	334.05 *	202.05*	291784.9 ns	231034.37 ns
اشتباه اصلی	Error	6	60.29	38.24	94710.2	69495.03
سالیسیلیک اسید	Salicylic Acid (SA)	2	39.18 ns	310.93**	413150.8**	361977.6**
سلنیوم	Selenium (Se)	1	86.68*	203.34**	802488.2**	442917.7**
مرحله رشد × سالیسیلیک اسید	GS×SA	4	29.78 ns	10.97 ns	79715.2**	4100.97*
مرحله رشد × سلنیوم	GS×Se	2	43.55ns	28.22 ns	4978.8 ns	6515.90*
سالیسیلیک اسید × سلنیوم	SA×Se	2	32.18 ns	11.34 ns	20431.0 ns	6755.97*
مرحله رشد× سالیسیلیک اسید× سلنیوم	GS×SA×Se	4	79.74**	56.59**	79076.3**	3002.94 ns
اشتباه فرعی	Error b	45	14.63	9.77	7853.4	1624.67
ضریب تغییرات (درصد)	CV (%)	-	4.48	4.98	6.98	5.39

ns،* و **: به ترتیب عدم معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵درصد و ۱درصد

ns, * and **: Non significant and significant at 5% and 1% levels of probability, respectively

جدول۵- مقایسه میانگین اثر سالیسیلیک اسید و سلنیوم بر صفات اندازه‌گیری‌شده در نخود

Table 5. Mean comparisons of main effects of salicylic acid and selenium on measured traits in chickpea

تیمارها	**Treatments**	محتوای نسبی آب **Relative water content (%)**	درصد نشت یونی **Electrolyte leakage (%)**	محتوای کلروفیلa **Chl. a content (mg/g fw)**	محتوای کارتنوئیدها **Carotenoid content (mg/g fw)**	عملکرد دانه **Grain yield (kg/ha)**
مراحل رشد	Growth stages					
دوره رویشی	Vegetative stage (VS)	44.38b	-	-	-	-
دوره زایشی	Reproductive stage (RS)	44.73b	-	-	-	-
دوره رویشی- زایشی	VS+RS	45.41a	-	-	-	-
سالیسیلیک اسید	Salicylic Acid (SA)					
عدم مصرف سالیسیلیک اسید	Without Salicylic acid	37.29c	-	0.662b	0.0075b	616.78c
محلول‌پاشی به میزان ۱۰۰میلی‌گرم در لیتر	100mg/L (SA)	44.01b	-	0.778a	0.0085ab	763.83b
محلول‌پاشی به میزان ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر	200 mg/L (SA)	53.22a	-	0.821a	0.0095a	860.69a
سلنیوم	Selenium (Se)					
عدم مصرف سلنیوم	Without selenium	38.81b	82.57a	0.660b	-	668.67b
محلول‌پاشی به میزان ۱۸گرم در هکتار	Foliar application of 18 g/ha Se	50.86a	75.86b	0.847a	-	825.53a

جدول۶- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها بر صفات اندازه‌گیری‌شده در نخود

Table 6. Mean comparisons of interaction effect of treatments on the measured traits in chickpea

تیمارها	**Treatments**	عملکرد دانه **Grain yield (kg/ha)**
سالیسیلیک اسید × مرحله رشدی	**Growth stage (GS)× Salicylic Acid (SA)**	
بدون مصرف سالیسیلیک اسید در مرحله رویشی	VS × SA1	540.23e
محلول‌پاشی ۱۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید در مرحله رویشی	VS × SA2	653.84d
محلول‌پاشی ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید در مرحله رویشی	VS × SA3	770.66c
بدون مصرف سالیسیلیک اسید در مرحله زایشی	RS × SA1	492.79f
محلول‌پاشی ۱۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید در مرحله زایشی	RS × SA2	627.28d
محلول‌پاشی ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید در مرحله زایشی	RS × SA3	744.86c
بدون مصرف سالیسیلیک اسید در مرحله رویشی و زایشی	VRS × SA1	658.33d
محلول‌پاشی ۱۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید در مرحله رویشی و زایشی	VRS × SA2	851.38b
محلول‌پاشی ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید در مرحله رویشی و زایشی	VRS × SA3	872.56a
سلنیوم × مرحله رشدی	**Growth stage (GS)× Selenium (Se)**	
بدون مصرف سلنیوم در مرحله رویشی	VS × Se1	567.39d
محلول‌پاشی ۱۸گرم در هکتار سلنیوم در مرحله رویشی	VS × Se2	742.43bc
بدون مصرف سلنیوم در مرحله زایشی	RS × Se1	533.28e
محلول‌پاشی ۱۸گرم در هکتار سلنیوم در مرحله زایشی	RS × Se2	710.01c
بدون مصرف سلنیوم در مرحله رویشی و زایشی	VRS × Se1	746.34b
محلول‌پاشی ۱۸گرم در هکتار سلنیوم در مرحله رویشی و زایشی	VRS × Se2	865.17a

فاز رویشی Vegetative stage (VS)؛ فاز زایشی Reproductive stage (RS)؛ فاز زایشی+ فاز رویشی Vegetative stage + Reproductive stages (VRS)؛ بدون مصرف سالیسیلیک اسید Without Salicylic acid (SA1)؛ ۱۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید 100 mg/L Salicylic acid (SA_2)؛ ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید 200 mg/L Salicylic acid (SA3)؛ بدون مصرف سلنیوم Without selenium (Se1)؛ ۱۸گرم در هکتار سلنیوم Application of 18 g/ha Se (Se2)

رنگدانه‌های گیاهی

اثـر سالیسـیلیک اسـید بـر محتـوای کلروفیـلa در سـطح احتمال ۱درصد و بـر محتـوای کارتنوئیـدهـا در سـطح احتمـال ۵درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر سلنیوم بر محتوای کلروفیـلa، در سطح احتمال ۱درصد معنی‌دار شد. اثـر متقابـل سالیسـیلیک اسید و سلنیوم بر محتوای کلروفیلb در سطح احتمـال ۱درصـد معنی‌دار شـد (جـدول ۳). بـا افـزایش غلظـت محلـول‌پاشـی بـا سالیسیلیک اسید محتوای کلروفیلa و کارتنوئیدها افزایش یافت. همچنین محلول‌پاشی سلنیوم محتـوای کلروفیـلa را نسـبت بـه شاهد افزایش داد (جدول ۵). نتایج مقایسه میـانگین اثـر متقابـل محلول‌پاشی سلنیوم و سالیسیلیک اسید نشان داد که بـا محلـول پاشی ۱۸گرم در هکتار سلنیوم و بدون مصرف سالیسیلیک اسید، ۱۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و بدون مصرف سلنیوم و همچنین محلول‌پاشی ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسـید و بـدون مصـرف سـلنیوم، محتـوای کلروفیـلb نسـبت بـه شـاهد به‌ترتیب ۲۶/۴ ، ۲۹/۴ و ۳۲/۳درصد افـزایش نشـان داد (جـدول ۷). محققـان گـزارش کردنـد کـاربرد سالیسـیلیک اسـید سـبب افزایش برخی رنگدانه‌های گیاهی و محتوای کارتنوئیـدها شـده و کـارآیی فتوسـنتز را در گیاهـان بهبـود مـی‌بخشـد (Hadi & Balali, 2010). گزارش شده است که در شرایط مطلوب آبیاری و در شرایط دیم با محلول‌پاشی ۰/۱ و ۱میلی مولار سالیسـیلیک اسید، غلظت کارتنوئیدها، کلروفیلa و کلروفیلb در ارقـام نخـود به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Vaisnad & Talebi, 2015). افزایش غلظت رنگدانه‌های فتوسـنتزی در گیاهـان تیمارشـده بـا سالیسیلیک اسید در شرایط تـنش خشـکی مـی‌توانـد بـه دلیـل افزایش فعالیت آنزیم‌های ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز و فسـفو انول پیروات کربوکسیلاز باشد (Popova *et al*., 2003). هرگـاه گیاهان در معرض تنش محیطی قرار گیرنـد، کلروپلاسـت آن‌هـا تخریب شده و این عمل سبب اخـتلال در فراینـد فتوسـنتز مـی گردد. کاربرد سلنیوم در میزان‌های مناسـب مـی‌توانـد تـا حـدی تخریب کلروپلاست‌ها را کاهش و محتوای کلروفیل‌هـا را افـزایش دهد (Fileck *et al*., 2010). گزارش شده است سلنیوم موجب افزایش دسترسی گیاه به آهن می شـود کـه مـی‌توانـد در حفـظ محتوای کلروفیل مـؤثر باشـد (Cao *et al*., 2011). در شـرایط تنش محیطی، کاربرد سلنیوم خسارت کلروپلاست را کاهش مـی دهد و به حفظ رنگدانه‌های فتوسنتزی کمک می‌نماید (Zahedi *et al*., 2013; Balal *et al*., 2016).

شاخص برداشت غلاف و تلاش و بازآوری

نتایج نشان داد که اثر سلنیوم و مراحـل مختلـف رشـد بـر شاخص برداشت غلاف در سطح احتمال ۵درصد و اثر متقابل سه گانـه تیمارهـا بـر شـاخص برداشـت غـلاف در سـطح احتمـال یک‌درصد معنـی‌دار بـود (جـدول ۴). بررسـی نتـایج اثـر متقابـل سه‌گانه تیمارها نشان دادکه با محلول‌پاشی سالیسـیلیک اسـید و سلنیوم در مراحل رویشی، زایشی و مرحله رویشی توأم با زایشی، شاخص برداشت غلاف افزایش یافت. با توجه به نتایج، بـا محلـول پاشی ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید همـراه بـا ۱۸گـرم در هکتار سلنیوم در مراحل رویشی یا زایشی و همچنین محلول-پاشی ۱۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید توأم با ۱۸گـرم در هکتار سلنیوم در مرحله رویشی همراه با زایشی شاخص برداشـت غلاف به ترتیب ۷/۷، ۱۰/۲ و ۹/۵درصد نسبت به شـاهد افـزایش یافـت. بیشـترین افـزایش در شـاخص برداشـت غـلاف از تیمـار محلول‌پاشی ۱۰۰میلی‌گرم در لیتـر سالیسـیلیک اسـید تـوأم بـا ۱۸گرم در هکتار سـلنیوم در مرحلـه رویشـی همـراه بـا زایشـی حاصل شد (جدول ۸).

شاخص تلاش و بازآوری شاخصـی از توانـایی انتقـال مـواد فتوسنتزی در گیاه به کل اندام‌های زایشـی مـی‌باشـد. اثـر سـاده عامل محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسـید و سـلنیوم و اثـر متقابـل سه‌گانه تیمارها بر شـاخص تـلاش و بـازآوری در سـطح احتمـال یک‌درصد و اثر عامل محلول‌پاشـی در مراحـل مختلـف رشـد بـر شاخص تلاش و بازآوری در سطح احتمال پنج‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج اثر متقابل سـه‌گانـه تیمارهـا نشـان داد کـه بـا محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و سلنیوم بـه تنهـایی و همـراه بـا هم، شاخص تلاش و باز آوری در مراحل مختلف رشد نسـبت بـه شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد. با توجه بـه نتـایج بـا محلـول پاشی ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید همـراه بـا ۱۸گـرم در هکتار سلنیوم در مراحل رویشی یا زایشی و همچنین محلول-پاشی ۱۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید توأم با ۱۸گـرم در هکتار سلنیوم در مرحله رویشی همراه با زایشی شاخص تـلاش و بازآوری به ترتیب ۱۹/۳، ۱۷/۰۲ و ۱۷/۴۴درصد نسبت به شـاهد افزایش یافت (جدول ۸).

عملکرد زیستی

نتــایج تجزیــه واریــانس نشــان داد کــه اثــر تیمارهــای سالیسیلیک اسید، سلنیوم و اثر متقابل دوگانه سالیسیلیک اسـید در مراحل مختلف رشد و اثر متقابل سه‌گانه تیمارهـا بـر عملکـرد زیستی در سطح احتمال یـک‌درصـد معنـی‌دار بـود (جـدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تیمارها نشان داد که بـا محلول‌پاشی توأم ۱۰۰ و ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید توأم با ۱۸گرم در هکتار سلنیوم در مراحل مختلف رشد، عملکـرد زیستی افزایش معنـی‌دار نشـان داد. بیشـترین عملکـرد زیسـتی (۱۵۲۸/۸۶و ۱۶۲۸/۴۰ کیلوگرم در هکتـار) از تیمارهـای ۱۰۰ و ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید توأم با ۱۸گرم در هکتـار

سلنیوم با محلول‌پاشی در مراحل رویشی و زایشی حاصل شد (جدول ۸). گزارش شده است که افزایش زیست‌توده و به دنبال آن عملکرد دانه نخود در شرایط تنش خشکی در واکنش به محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید می‌تواند مربوط به القاء نقش حفاظتی غشاها باشد که از این طریق تحمل گیاهان به خسارت را افزایش می‌دهد (Vaisnad & Talebi, 2015). بر اساس گزارش Coronado *et al*, (1998) در شرایط گلخانه و مزرعه، اسپری سالیسیلیک اسید بر روی اندام‌های هوایی سویا به‌طور معنی‌داری رشد اندام‌های هوایی و ریشه را افزایش داد.

عملکرد دانه

اثر تیمارهای سالیسیلیک اسید و سلنیوم بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک‌درصد و اثر متقابل دوگانه تیمارها بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در مراحل مختلف رشد بر عملکرد دانه نشان داد که با محلول‌پاشی ۱۰۰ و ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید در مرحله رویشی، مرحله زایشی و مرحله رویشی توأم با زایشی، عملکرد دانه به‌طور معنی‌دار نسبت به شاهد افزایش یافت. بیشترین مقدار عملکرد دانه (۸۷۲/۵۶ کیلوگرم در هکتار) از محلول‌پاشی ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید در مرحله رویشی توأم با زایشی حاصل شد که نسبت به عدم محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید در مرحله رویشی توأم با زایشی، عملکرد دانه را ۳۲/۵درصد افزایش داد (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی با سلنیوم در مراحل مختلف رشد بر عملکرد دانه نشان داد که با محلول‌پاشی ۱۸گرم در هکتار سلنیوم در مرحله رویشی، مرحله زایشی و مرحله رویشی توأم با زایشی، عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت. بیشترین مقدار عملکرد دانه (۸۶۵/۱۷کیلوگرم در هکتار) از محلول‌پاشی ۱۸گرم در هکتار سلنیوم در مرحله رویشی توأم با زایشی حاصل شد که نسبت به عدم محلول‌پاشی سلنیوم در مرحله رویشی توأم با زایشی، عملکرد دانه را ۱۵/۹درصد افزایش داد (جدول ۶).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سالیسیلیک اسید در سلنیوم نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۹۴۰/۵۲کیلوگرم در هکتار) از تیمار مصرف ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و ۱۸گرم در هکتار سلنیوم حاصل شد. نتایج نشان داد که با محلول‌پاشی ۱۰۰ و ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید توأم با ۱۸گرم در هکتار سلنیوم، عملکرد دانه به ترتیب ۵۴/۴۳ و ۶۹/۲۲درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۷). به نظر می‌رسد یکی از دلایل افزایش عملکرد در گیاهان تیمارشده با سالیسیلیک اسید، احتمالاً ناشی از تأثیر سالیسیلیک اسید بر تثبیت دی‌اکسیدکربن باشد. گزارش شده است که کاربرد سالیسیلیک اسید باعث افزایش تثبیت دی‌اکسیدکربن می‌شود. سالیسیلیک اسید با تأثیر بر افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی، افزایش کارآیی فتوسیستمII، غلظت و فعالیت بیشتر آنزیم رابیسکو و تأمین بیشتر ATP و NADPH باعث افزایش تثبیت کربن و تولید بیشتر آسیملات‌ها می‌شود (Khan *et al*., 2003). گزارش شده است که محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید از طریق بهبود میزان کلروفیل موجب افزایش ۱۳درصدی در عملکرد کلزا شد (Modarres Sanavy, Keshavarz & 2014). محلول‌پاشی ۱۰گرم در هکتار سلنیوم از منبع سلنات و سلنیت سدیم، عملکرد دانه را در گیاه جو دوردیفه به‌طور معنی دار افزایش داد، اما با افزایش مقدار سلنیوم به ۴۰گرم در هکتار عملکرد دانه کاهش یافت (Rodrigo *et al*., 2013).

جدول۷- مقایسه میانگین اثرمتقابل سالیسیلیک اسید و سلنیوم بر صفات اندازه‌گیری‌شده در نخود

Table *7*. Mean comparisons of interaction effects of salicylic acid and selenium on the measured traits in chickpea

تیمارها	Treatments	محتوای کلروفیلb Cholorophyll *b* content (mg/g fw)	عملکرد دانه Grain yield (kg/ha)
سالیسیلیک اسید× سلنیوم	Salicylic Acid (SA)× Selenium (Se)		
بدون مصرف سالیسیلیک اسید و سلنیوم	Without Salicylic acid and selenium	0.34d	555.78e
محلول‌پاشی ۱۸گرم در هکتار سلنیوم و عدم مصرف سالیسیلیک اسید	Foliar application of 18 g/ha Se and Without SA	0.43ab	677.79d
محلول‌پاشی ۱۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و عدم محلول‌پاشی سلنیوم	Foliar application of100 mg/L SA and Without Se	0.44a	669.36d
محلول‌پاشی ۱۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی ۱۸گرم در هکتار سلنیوم	Foliar application of100 mg/L SA× Foliar application of 18 g/ha Se	0.39bc	858.30b
محلول‌پاشی ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و عدم محلول‌پاشی سلنیوم	Foliar application of 200 mg/L SA and Without Se	0.45a	780.86c
محلول‌پاشی ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و محلول‌پاشی ۱۸گرم در هکتار سلنیوم	Foliar application of 200 mg/L SA× Foliar application of 18 g/ha Se	0.36dc	940.52a

*میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵درصد، اختلاف معنی‌داری ندارند.

*Means followed by the same letters in each column, are not-significantly different according to Least Significant Difference Test (P ≤0.05).

جدول۸- مقایسه میانگین اثر متقابل سالیسیلیک اسید و سلنیوم بر صفات اندازه‌گیری‌شده در نخود

Table *8*. Mean comparisons of interaction effects of salicylic acid and selenium measured traits in chickpea

تیمارها **Treatments**		شاخص برداشت غلاف **Harvest index of pod (%)**	شاخص تلاش و بازآوری **Productivity index (%)**	عملکرد زیستی **Biological yield (kg/ha)**
سالیسیلیک اسید× سلنیوم × مرحله رشدی	**Growth stage (VS)× Salicylic Acid (SA) × Selenium (Se)**			
بدون مصرف سالیسیلیک اسید و سلنیوم در مرحله رویشی	VS × SA1× Se1	83.50cde	58.75g-j	1209.03fgh
محلول‌پاشی ۱۸گرم در هکتار سلنیوم و عدم مصرف سالیسیلیک اسید در مرحله رویشی	VS × SA1× Se2	88.00abc	61.00e-i	1198.20gh
محلول‌پاشی ۱۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و عدم محلول‌پاشی سلنیوم در مرحله رویشی	VS × SA2× Se1	84.75b-e	64.75b-e	954.83j
محلول‌پاشی ۱۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و ۱۸گرم در هکتار سلنیوم در مرحله رویشی	VS × SA2× Se2	84.00 cde	64.50cde	1341.14cde
محلول‌پاشی ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و عدم محلول‌پاشی سلنیوم در مرحله رویشی	VS × SA3× Se1	88.50abc	62.00d-h	1260.42d-g
محلول‌پاشی ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و ۱۸گرم در هکتار سلنیوم در مرحله رویشی	VS × SA3× Se2	90.00ab	70.00a	1424.20bc
بدون مصرف سالیسیلیک اسید و سلنیو م در مرحله زایشی	RS × SA1× Se1	90.00ab	59.25f-i	1003.36ij
محلول‌پاشی ۱۸گرم در هکتار سلنیوم و عدم مصرف سالیسیلیک اسید در مرحله زایشی	RS × SA1× Se2	88.75abc	63.00c-g	1125.95hi
محلول‌پاشی ۱۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و عدم محلول‌پاشی سلنیوم در مرحله زایشی	RS × SA2× Se1	87.75abc	67.25abc	970.10j
محلول‌پاشی ۱۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و ۱۸گرم در هکتار سلنیو مدر مرحله زایشی	RS × SA2× Se2	87.25a-d	65.75a-d	1331.14c-f
محلول‌پاشی ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و عدم محلول‌پاشی سلنیوم در مرحله زایشی	RS × SA3× Se1	91.00a	67.25abc	1243.09e-h
محلول‌پاشی ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید ۱۸گرم در هکتار سلنیوم در مرحله زایشی	RS × SA3× Se2	92.00a	68.75ab	1411.10bc
بدون مصرف سالیسیلیک اسید و سلنیو م در مرحله رویشی توأم با زایشی	VRS × SA1× Se1	81.75e	54.75j	932.14j
محلول‌پاشی ۱۸گرم در هکتار سلنیوم و عدم مصرف سالیسیلیک اسید در مرحله رویشی توأم با زایشی	VRS × SA1× Se2	80.00ef	54.75j	1373.24cd
محلول‌پاشی ۱۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و عدم محلول‌پاشی سلنیوم در مرحله رویشی توأم با زایشی	VRS × SA2× Se1	75.75f	57.00ij	1441.94bc
محلول‌پاشی ۱۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و ۱۸گرم در هکتار سلنیو مدر مرحله رویشی توأم با زایشی	VRS × SA2× Se2	91.50a	69.00ab	1528.86ab
محلول‌پاشی ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید و عدم محلول‌پاشی سلنیوم در مرحله رویشی توأم با زایشی	VRS × SA3× Se1	81.00ef	58.50jhi	1447.32bc
محلول‌پاشی ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید ۱۸گرم در هکتار سلنیوم در مرحله رویشی توأم با زایشی	VRS × SA3× Se2	82.25de	63.25c-f	1628.40a

*میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵درصد، اختلاف معنی‌داری ندارند.

*Means followed by the same letters in each column, are not-significantly different according to Least Significant Difference Test (P ≤0.05).

فاز رویشی (VS) Vegetative stage؛ فاز زایشی (RS) Reproductive stage؛ فاز زایشی+ فاز رویشی (VRS) Vegetative stage + Reproductive stages؛ بدون مصرف سالیسیلیک اسید (SA1) Without Salicylic acid؛ ۱۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید (SA_2) 100 mg/L Salicylic acid؛ ۲۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید(SA3) 200 mg/L Salicylic acid؛ بدون مصرف سلنیوم (Se1) Without selenium؛ ۱۸گرم در هکتار سلنیوم (Se2) Application of 18 g/ha Se

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر اثـر مثبـت محلـول‌پاشـی سالیسـیلیک اسید و سلنیوم در شرایط دیم بر عملکرد دانه و عملکرد زیستی مربوط به تأثیر آن‌ها بر فراینـدهای فیزیولـوژیکی ماننـد حفـظ وضـعیت آب در گیـاه، حفـظ پایـداری غشـای سیتوپلاسـمی و بهبود محتوای رنگدانه‌های گیاهی بـود. سـلنیوم و سالیسـیلیک اسید در شرایط تنش رطوبتی از طریق بهبود صـفت‌هـای فـوق نقش قابل‌ملاحظه‌ای را در کـاهش اثـرات سـوء ناشـی از تـنش خشکی و بهبود عملکرد گیاه ایفا می‌نماید. بنـابراین در شـرایط تنش خشکی محلول‌پاشی با ۱۰۰میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک اسید توأم با ۱۸گرم در هکتار سـلنیوم در دو مرحلـه رویشـی و زایشی موجب بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی و زراعی و کاهش اثرات تنش خشکی شده و می‌توان بـه عملکـرد قابـل‌قبـولی در نخود دیم دست یافت.

منابع

1. Abul-Soud, M.A., and Abd-Elrahman, Sh.H. 2016. Foliar selenium application to improve the tolerance of eggplant grown under salt stress conditions. International Journal of Plant and Soil Science 9(1): 1-10.
2. Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24(1): 1-15.
3. Balal, R.M., Shahid, M.A., Javaid, M.M., Iqbal, Z., Anjum, M.A., Garcia- Sanchez, F., and Marttson, N.S. 2016. The role of selenium in amelioration of heat-induced oxidative damage in cucumber under high temperature stress. Acta Physiologiae Plantarum 38(158): 1-14.
4. Broadley, R., Martin, F., and John, A. 2010. Selenium biofortification of high yielding winter wheat (*Triticum aestivum* L.) by liquid or granular Se fertilization. Plant and Soil 332: 5-18.

5. Cao, F., Cai, Y., Cheng, W.D., Zhang, G.P., and Wu, F.B. 2011. Modulation of exogenous glutathione in phytochelatins and photosynthetic performance against Cd stress in the two rice genotypes differing in Cd tolerance. Biology Trace Elemental Research 143(2): 1159-1173.
6. Chilimba, A.D., Young, S.D., Black, C.R., Meacham, M.C., Lammel, J., and Broadley, M.R. 2012. Agronomic biofortification of maize with selenium in Malawi. Field Crops Research 125: 118-128.
7. Coronado, M.A.G., Lopez, C.T., and Saavedra, A.L. 1998. Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. Plant Physiology and Biochemistry 36(8): 563-565.
8. Djanaguiraman, M., Devi, D.D. Shanker, A.K. Sheeba J.A., and Bangarusamy, U. 2005. Selenium-an antioxidative protectant in soybean during senescence. Plant and Soil 272: 77-86.
9. Epstein, E. 2009. Silicon: its manifold roles in plants. Annals Applied Biology 155(2): 155-160.
10. Fariduddin, Q., Hayat S., and Ahmad A. 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity, and seed yield in *Brassica juncea*. Photosynthetica 41: 281-284.
11. Filek, M., Gzyl-Malcher, B., Zembala, M., Bednarska, E.,Laggner, P., and Kriechbaum, M. 2010. Effect of selenium on characteristics of rape chloroplasts modified by cadmium. Plant Physiology 167(1): 28-33.
12. Hadi, M.R., and Balali, G.R. 2010. The effect of salicylic acid on the reduction of rizoctoni damage in the tubers of marfona potato cultvar. American-Eurasian Journal Agricultural and Environment Science 7(4): 492-496.
13. Han-Wens, S., Jing, H., Shu-Xuan, L., and Wei-Jun. K. 2010**.** Protective role of selenium on garlic growth under cadmium stress. Communications in Soil Science and Plant Analysis 41(10): 1195-1204.
14. Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M., and Ahmad, A. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. Environmental and Experimental Botany 68(1): 14-25.
15. Hussain, M., Malik, M.A., Farooq, M., Ashraf, M.Y., and Cheema, M.A. 2008. Improving drought tolerance by exogenous application of glycinebetaine and salicylic acid in sunflower. Journal of Agronomy and Crop Science 194(3): 193-199.
16. Jabari, H., Akbari, GH.A., Daneshyan, J., Allahdadi, I., and Shahbazian, N. 2007. Effects of water deficit stress on agronomic characteristics of sunflower hybrids. Journal of Agriculture 9(1): 13-22. (In Persian with English Summary).
17. Jami Moieni, M., Borhani, N., and Armin, M. 2016. Effect priming by salicylic acid on seed germination and seedling growth of pea by allelopathy of *Datura stramonium* L. Journal of Seed Research 21(4): 47-56. (In Persian with English Summary).
18. Keshavarz, H., and Modarres Sanavy, S.A.M. 2014. Effect of salicylic acid on chlorophyll, some growth characteristics and yield of two canola varieties. Journal Crop Production 7(4): 167-178. (In Persian with English Summary).
19. Khan, W., Prithiviraj, B., and Smith, D.L. 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. Journal of Plant Physiology 160(5): 485-492.
20. Lutts, S., Kint, J.M., and Bouharmont, J. 1996. NaCl-induced senescence in leavesof rice (*Oriza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. Annals of Botany 78(3): 389-398.
21. Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P.C., and Sohrabi, Y. 2011. Effect of drought stress and subsequent recovery on protein, carbohydrate contents, catalase and peroxidase activities in three chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. Australian Journal of Crop Science 5(10): 1255-1260.
22. Malik, J.A., Goel, S., Kaur, N., Sharma, S., Singh, I., and Nayyar, H. 2012. Selenium antagonizes the toxic effects of arsenic on mungbean (*Phaseolus aureus* Roxb) plant by restricting its uptake and enhancing the antioxidative and detoxification mechanisms. Environmental and Experimental Botany 77: 242-248.
23. Nawaz, F., Naeem, M., Ashraf, M.Y., Tahir M.N., Salahuddin M., Shabbir, R.N., and Aslam, M. 2016. Selenium supplementation affects physiological and biochemical processes to improve fodder yield and quality of maize (*Zea mays* L.) under water deficit conditions. Frontiers in Plant Science 7: 1-13.
24. Nawaz, F., Ashraf, M.Y., Ahmad, R., Waraich, E.A., Shabbir, R.N., and Bukhari, M.A. 2015. Supplemental selenium improves wheat grain yield and quality through alteration sinbiochemical processes under normal and water deficit conditions. Food Chemistry 175: 350-357.
25. Patel, P.K., Hemantaranjan, A., Sarma, B.K., and Singh, R. 2011. Growth and antioxidant system under drought stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.) as sustained by salicylic acid. Journal of Stress Physiology and Biochemistry 7(4): 130-144.
26. Popova, L., Ananieva, E., Hristova, V., Chistov, K., Georgieva, K., Alexieva, V., and Stoinova, Zh. 2003. Salicylic acid and methyl jasmonate induced protection on photosynthesis to paraquat oxidative stress. Bulgarian journal of Plant Physiology (Special Issue): 133-152.

27. Ramezannezhad, R., Lahouti, M., and Ganjali, A. 2013. Effect of salicylic acid on physiological and biochemical parameters on resistant and sensitive chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under drought stress. Plant Eco-Physiology 5(12): 24-37.
28. Rezazadeh, S. 2011. Effect of Salicylic Acid on Agronomic Traits, Yield Components and Nitrogen Biological Fixation in Pea Plant under Drought Stress Condition. Thesis of MSc. in Seed Science and Technology. University of Birjand, Iran. 78p. (In Persian with English Summary).
29. Rodrigo, S., Santamaria, O., Lopez-Bellido, F.J., and Poblaciones, M.J. 2013. Agronomic selenium biofortification of two-rowed barley under Mediterranean conditions. Plant, Soil and Environment 59(3): 115-120.
30. Talebi, R., Ensafi, M.H., Baghebani, N., Karami, E., and Mohammadi, K.H. 2013. Physiological responses of chickpea (*Cicer arietinum*) genotypes to drought stress. Environmental and Experimental Biology 11: 9-15.
31. Turner, N.C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. Plant and Soil 58(1-3): 336-339.
32. Vaisnad, Sh., and Talebi, R. 2015. Salicylic acid-enhanced morphological and physiological responses in chickpea (*Cicer arietinum*) under water deficit stress. Environmental and Experimental Biology 13: 109-115.
33. Wang, Y.D., Wang, X., and Wong, Y.S. 2013. Generation of selenium-enriched rice with enhanced grain yield, selenium content and bioavailability through fertilization with selenite. Food Chemistry 141(3): 2385-2393.
34. Xue, T.L., Hartikainen, H., and Piironen, V. 2001. Antioxidative and growth-promoting effects of selenium on senescing lettuce. Plant and Soil 237: 55-61.
35. Zahedi, H., Shirani Rad, A.H., and Tohidi Moghadam, H.R. 2012. Effect of zeolite and selenium foliar application of on growth, production and some physiological attributes of three canola (*Brassica napus* L.) cultivar subjected to drought stress. Revista Cientifica UDO Agricola 12(1): 135-142.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 10, No. 2, 2019, p. 36-48 (Research Article)

Effect of Salicylic acid and Selenium application at different growth stages on some physiological traits of chickpea under rainfed conditions

Norouzi[1], M. & Sajedi*[2], N.A.

1. MSc. in Agronomy, Ministry of Agriculture-Jahad, Arak, Iran, hobout_h@yahoo.com
2. Associate Professor, Department of Agrotechnology, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

Received: 12 July 2017
Accepted: 7 January 2018

DOI: 10.22067/ijpr.v10i2.65944

Introduction

Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is one of the important pulse crops in the world. Also it is valued through high protein content in seeds (23.5-28.9%). In Iran, chickpea produced under arid and semi-arid zones and usually chickpea plants during flowering and maturity stages are exposed to increasing water deficit stress. Different methods are existed in agriculture to increase plants tolerance to abiotic and biotic stresses. Seed priming and foliar application by amino acids, proline, glycinebetaine, Salicylic acid as well as zinc, Selenium and Silicon have been considered in recent years. Selenium is not an essential nutrient for plants. Reports showed that selenium could protect the plants under abiotic stresses such as salinity, high temperature and drought. Selenium protected the plants from abiotic stresses by participate in several physiological and biochemical process such as water condition retain, increasing plant pigments and photosynthesis apparatus regulation. Salicylic acid (SA) is a plant-produced nature phenolic compound which plays an important role in the abiotic stresses tolerance. Growth and production of crops will affect by SA application. Several studies showed that salicylic acid application increased the plant tolerant to drought stress. Increasing proteins, photosynthesis pigments and sugars indicated on the role of salicylic acid in increasing the plant resistance to stress. Therefore, this experiment carried out to study the influence of foliar application of salicylic acid and selenium at different growth stages on some physiological traits of chickpea under rainfed condition.

Material & Methods

To evaluate the response of some physiological traits of chickpea at different growth stages to foliar application of salicylic acid and selenium under rain fed condition, an experiment was conducted as split plot based on Randomized Complete Block Design with four replications during 2013-2014 cropping season. Experimental factors were salicylic acid in three levels (0,100 and 200 mg L^{-1}) and foliar selenium spraying in two levels (0 and 18 gr ha^{-1}) that applicated in different growth stages (vegetative, reproductive growth and vegetative growth along with reproductive). According to the soil analysis results, 50 kg ha^{-1} urea and 40 kg ha^{-1} triple superphosphate fertilizers were applied at planting time. Each experimental plot included 30 cm distanced rows with 10 cm spacing between plants in rows. The chickpea cultivar was 'Azad'. The seeds were sown at 6 cm depth in end of February 2013. Physiological traits measured from three replications. Relative water content was determined from five leaflet from leaves at flowering stage that were prepared immediately and weighed to measure fresh leaf weight in the laboratory at 25°C. Then, leaflet were placed in distilled water for 24 h until completely saturated. At the end of this stage, leaflet were dried with dry paper towels and reweighed. Samples were placed in the oven for 48 h at 72°C until dried and then weight of the dried leaves was recorded. Relative water content was calculated using the following relation.

$$RWC(\%) = \frac{Wf - Wd}{Ws - Wd} \times 100$$

where RWC is the relative water content, Wf is the leaf fresh weight, Wd is the leaf dry weight and Ws is the leaf saturated weight. Photosynthetic pigments were calculated by the method presented by Arnon (1949). Samples collected from five leaflet, 0.5 gr leaves were ground in 80% acetone for determination and

*Corresponding Author: n-sajedi@iau-arak.ac.ir

absorbance of the resulting extracts, recorded at 480, 510, 645 and 663 nm with a spectrophotometer. Biological and seed yield harvested from 2 m^2 of middle in each plots. Data were subjected to analysis of variance using SAS program. Means were compared using the Least Significant Diffrence test (LSD) Multiple Range Test at 5% probablity level.

Results & Discussion

Results showed that the highest leaf relative water content observed from foliar application of selenium and salicylic acid at vegetative along with reproductive stages. Salicylic acid application at the rate of 100 and 200 mg L^{-1} and selenium at the rate of 18 gr ha^{-1} increased the leaf relative water content by 18, 42.7 and 31%, respectively as compared with control. There were reports that, application of salicylic acid improved vegetative growth rate, chlorophyll a, b and total chlorophyll, leaf relative water content and resistance to water deficit in lawn. The highest ion leakage (82.57%) and the lowest (75.86%) recorded from treatments of without application of selenium and foliar application of 18 gr ha^{-1} selenium, respectively. Foliar application of 100 and 200 mg L^{-1} salicylic acid along with 18 gr ha^{-1} selenium increased chlorophyll a content compared with control, significantly. Foliar application of 100, 200 mg L^{-1} salicylic acid and 18 gr ha^{-1} selenium alone increased chlorophyll b content by 29.4%, 32.3% and 26.4% as compared with control, respectively. The highest carotenoids content belonged to foliar application of 200 mg L^{-1} salicylic acid. There were reports that application of selenium decreased chloroplast damage and help to retain of photosynthesis pigments. Foliar application of 100 and 200 mg L^{-1} salicylic acid along with 18 gr ha^{-1} selenium increased productivity index at different growth stages as compared with control. The treatments interaction effects showed that the maximum biological yields (1528.86 and 1628.40 kg ha^{-1}) obtained from treatment of 100 and 200 mg L^{-1} salicylic acid along with 18 gr ha^{-1} selenium at different growth stages, respectively. The results showed that foliar application of salicylic acid and selenium could be increased chickpea seed yield.

Conclusion

The positive role of application of salicylic acid and selenium under rainfed condition exerted by the effects on physiological process such as water retain in plant, membrane stability retain and improve of photosynthesis pigments. Therefore, foliar application of 100 mg L^{-1} salicylic acid and along with 18 gr ha^{-1} selenium at vegetative growth along with reproductive growth could obtain optimum yield.

Keywords: Chickpea, Ion leakage, Plant pigments, Relative water content, Sodium selenite